

Fahrerassistenz und Betriebsoptimierung im Bahnverkehr (Schwerpunkt: Güterverkehr)

Vortrag im Rahmen der Vorlesung
„Schienengüterverkehr“ an der TU Berlin

Dipl.-Ing. Tilo Schumann
DLR Institut für
Verkehrssystemtechnik

20. Mai 2014



Wissen für Morgen

Übersicht

- DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik
- Ziele der Betriebsoptimierung
- Prinzipien des energieeffizienten Bahnbetriebs
- Geschichte der Fahrerassistenzsysteme (FAS)
- Beispiele für Fahrerassistenzsysteme
- Beispiele von Betriebsoptimierungssystemen
- Disposition im Bahnverkehr
- DLR-Forschung



DLR Institut für Verkehrssystemtechnik

Sitz:	Braunschweig, Berlin
Seit:	2001
Leitung:	Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer
Mitarbeiter:	Momentan rund 135 Mitarbeiter aus verschiedenen wissenschaftl. Bereichen
Forschungsgebiete:	Automotive Bahnsysteme Verkehrsmanagement
Aufgabenspektrum:	Grundlagenforschung Erstellen von Konzepten und Strategien Prototypische Entwicklungen
Qualität:	zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 und VDA 6.2 sowie RailSiTe® gemäß ISO 17025



Forschungsaktivitäten

Automotive



Methoden/Bewertung

Human Factors

Konzepte und Technologien

Simulatoren

Fahrzeuge

Bahnsysteme



Life Cycle Management

Rail Human Factors

Test und Validierung

Effizienter Bahnbetrieb

Sensoren – Daten –
Algorithmen

Verkehrsmanagement



Datenerfassung

Datenmanagement

Simulation und
Prognose

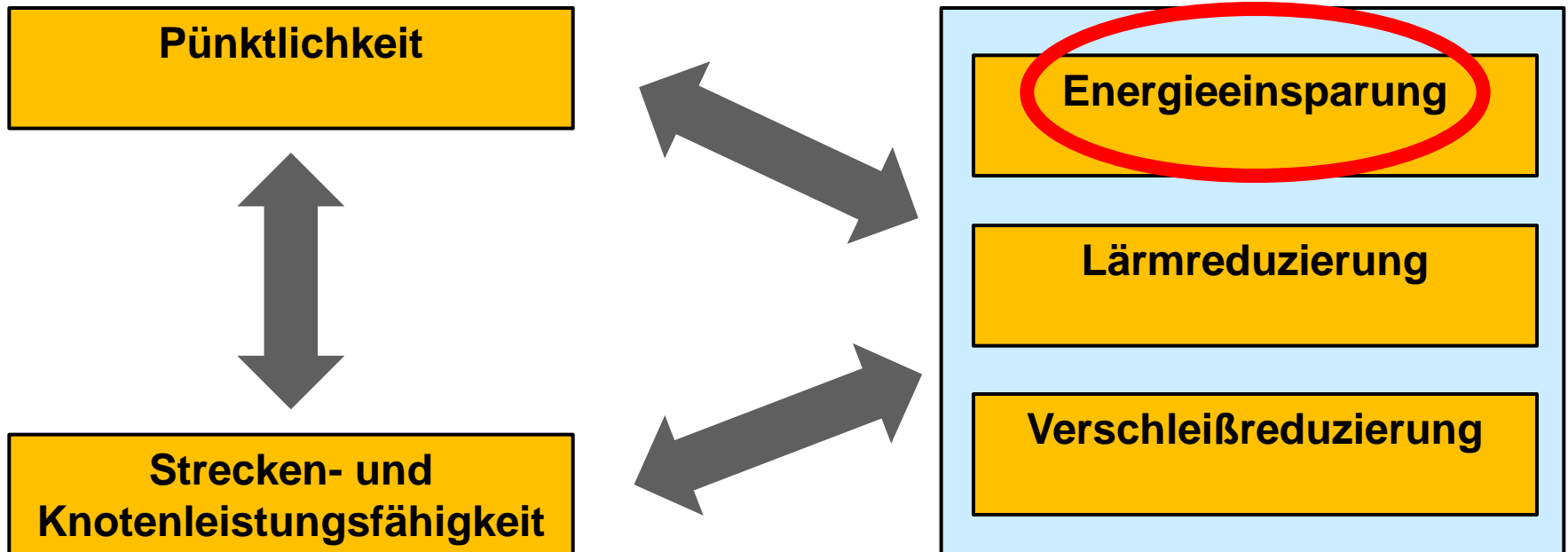
Steuerung und
Beeinflussung

Qualität im Verkehr



Ziele und Verfahren der Betriebsoptimierung

➤ Spannungsfeld zwischen verschiedenen Zielen



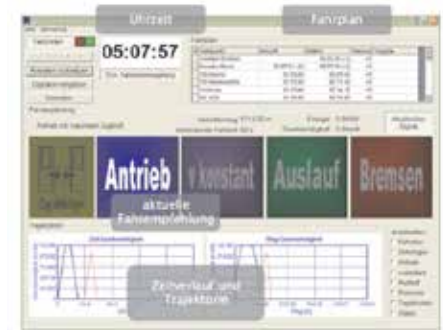
Ebenen des energieeffizienten Bahnbetriebs

I. Energieeffiziente Fahrplanerstellung

II. Statische Informationen zum Energieeffizienten Fahren

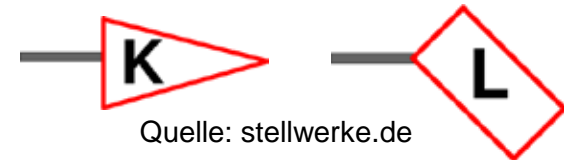


Quelle:
stellwerke.de



Quelle: Oettich, TU Dresden

III. Dynamische Informationen zur Optimierung einer Fahrt (Fahrerassistenzsystem)



Quelle: stellwerke.de

IV. Dynamische Informationen mit Vernetzung von fahrzeug- und streckenseitigen Systemen (Betriebsoptimierung)



Quelle: DB Netze

V. Optimierung der Disposition



Prinzipien des energieeffizienten Fahrens

Fahrzeitreserve

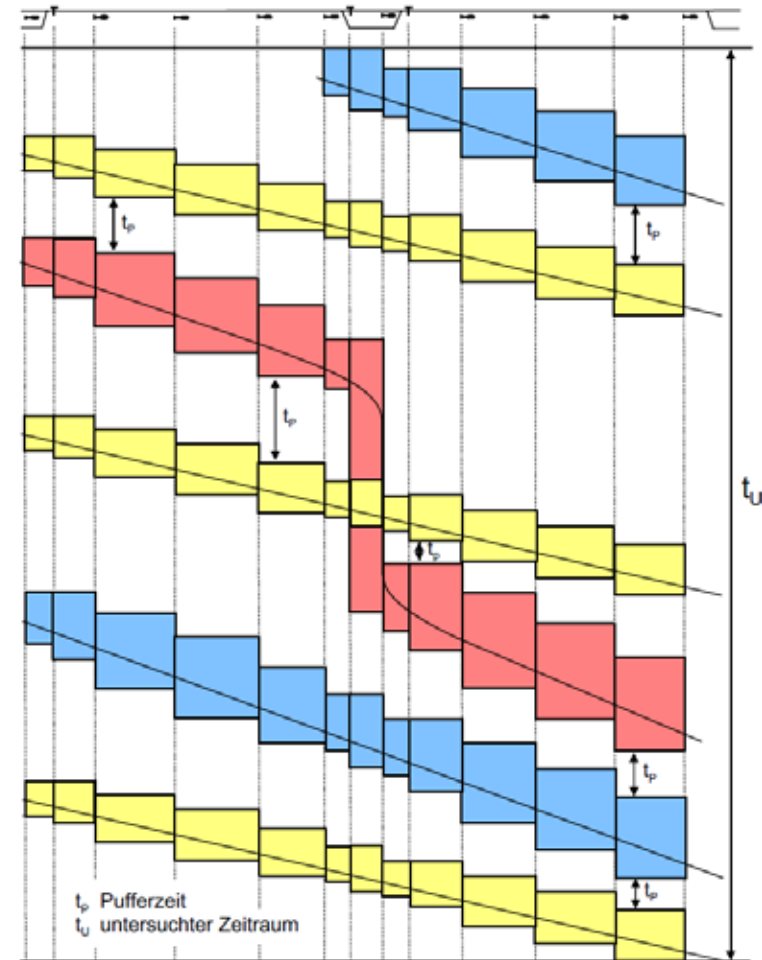
- Alle Fahrpläne beinhalten Reservezeiten zur Einhaltung des Fahrplans
 - Bei geringfügigen Störungen soll dies keine Auswirkungen auf die Pünktlichkeit haben
 - Außerdem soll ein verspäteter Zug Chancen auf Verspätungsabbau haben
 - Langsame Züge haben z.B. 3% Reserve, schnellere Züge mehr



Prinzipien des energieeffizienten Fahrens

Pufferzeit

- Zwischen zwei folgenden Zügen wird eine Pufferzeit freigehalten
- Dadurch übertragen sich leichte Verspätungen nicht sofort auf einen nachfolgenden pünktlichen Zug



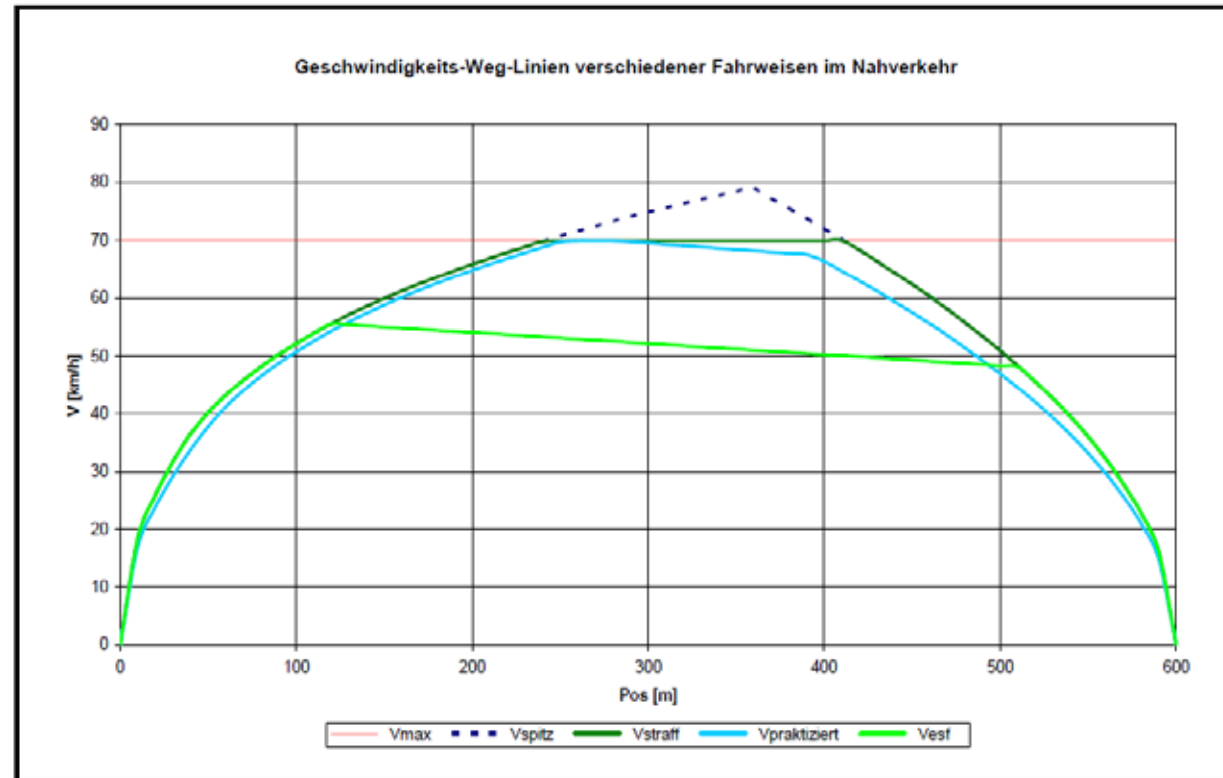
Quelle: Vorlesung EST, Jörn Pacht



Prinzipien des energieeffizienten Fahrens

Fahrweisen Nahverkehr

- Beispiel für Nahverkehr (kurze Halteabstände)
- Erlaubt: 70 km/h
- Straffe Fahrweise: Max. Besch., Beharren, Zielbremsen
- Praktiziert: max. Beschleunigung, Ausrollen, Bremsen
- Energieeffizient: Besch. nur bis zu einer bestimmten V (technische Hilfe notwendig)



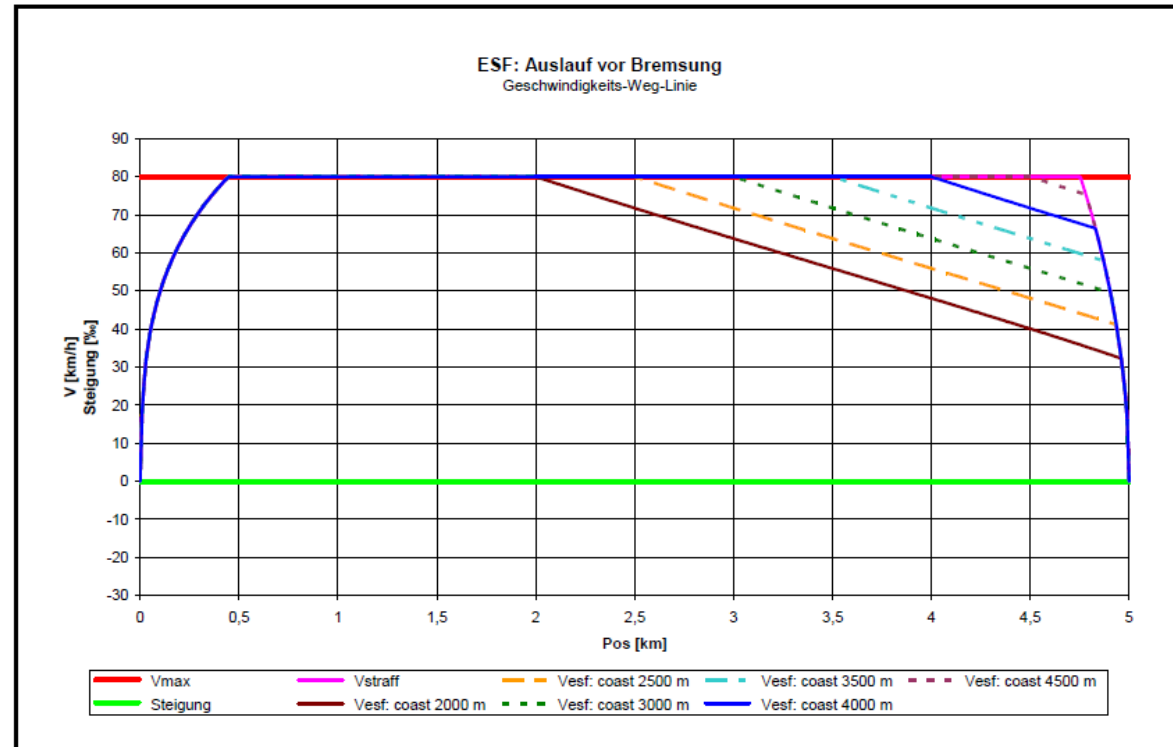
Quelle: Dissertation Ulrich Linder



Prinzipien des energieeffizienten Fahrens

Fahrweisen Fernverkehr

- Im Fernverkehr ist aufgrund der langen Halteabstände ein Teil der Fahrt mit Beharrung durchzuführen
- System der DB unterstützt den Fahrer dabei – später dazu mehr



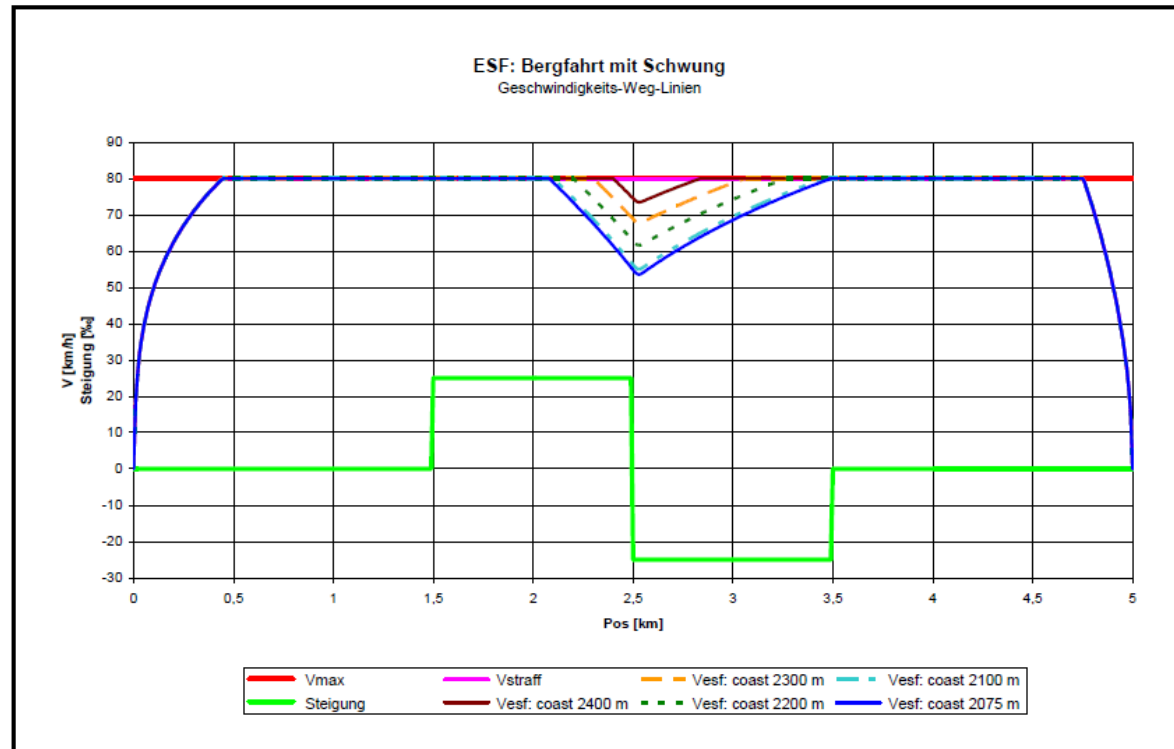
Quelle: Dissertation Ulrich Linder



Prinzipien des energieeffizienten Fahrens

Einfluss von Streckencharakteristika

- Bergige Strecken führen zu einer Verlangsamung in der Steigung und Beschleunigung im Gefälle
- Beharrung wäre in diesen Situationen nicht sinnvoll
- Statt Ausrollen am Ende à „Ausrollen“ in der Steigung



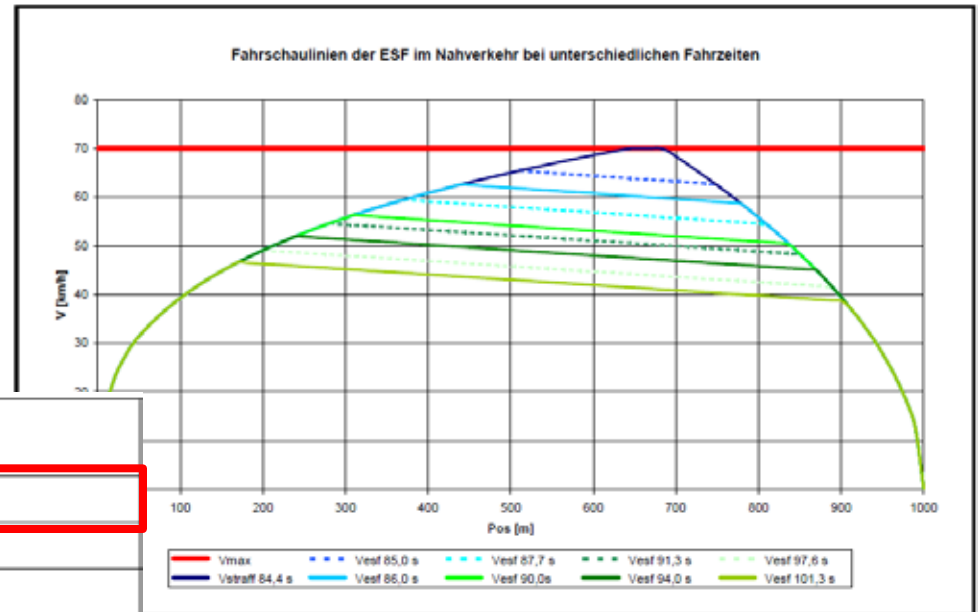
Quelle: Dissertation Ulrich Linder



Prinzipien des energieeffizienten Fahrens

Einsparpotenzial

- Nahverkehr: mit 10 Sekunden längerer Fahrzeit lässt sich die Hälfte der Energie einsparen



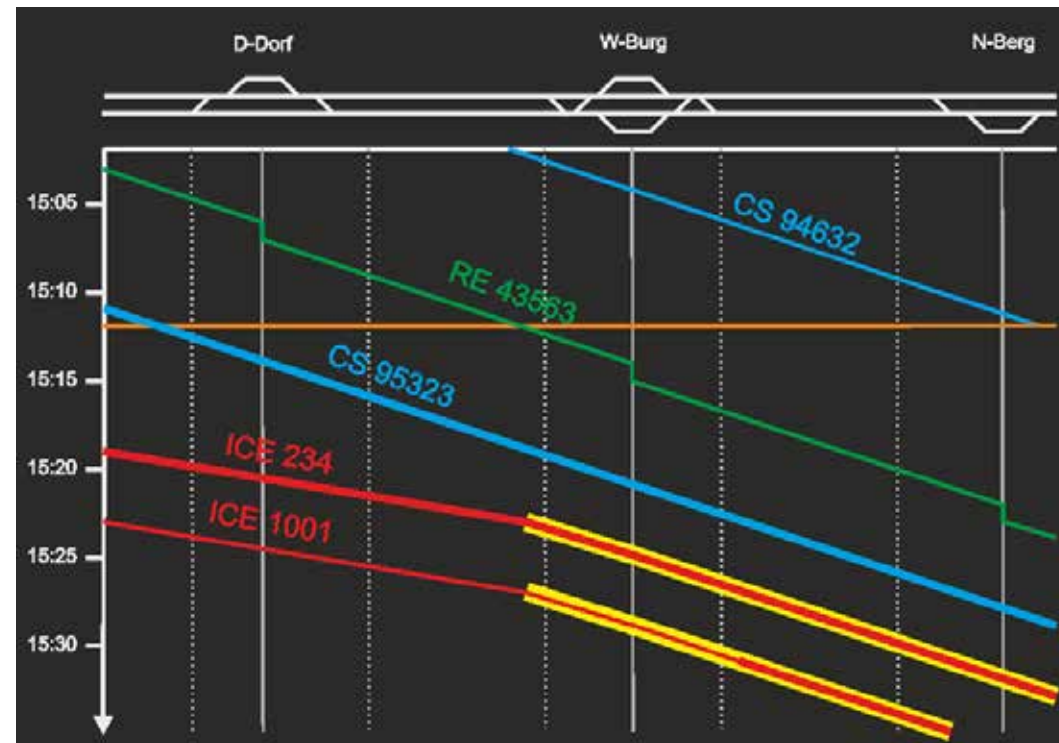
Quelle: Dissertation Ulrich Linder

Fahrweise	Fahrzeit [s]	Energieverbrauch [kWh]	Vmax [km/h]
Straff	84,4	7,89	70,0
ESF	85,0	6,65	65,4
ESF	86,0	6,02	62,6
ESF	87,7	5,36	59,4
ESF	90,0	4,75	56,3
ESF	91,3	4,44	54,6
ESF	94,0	3,99	52,0
ESF	97,6	3,53	49,1
ESF	101,3	3,16	46,6



Prinzipien des energieeffizienten Fahrens „Verbiegen“ von Zügen

- Voraussetzung:
Vernetzung von
Fahrerassistenzsystem
(FAS) mit
Streckenzentrale
- Informationen über
Fahrtverlauf
vorausfahrender Züge
aus Streckenzentrale
- FAS berechnet ein Profil,
bei dem Zug langsamer
hinterherfährt und
„verbogen“ wird

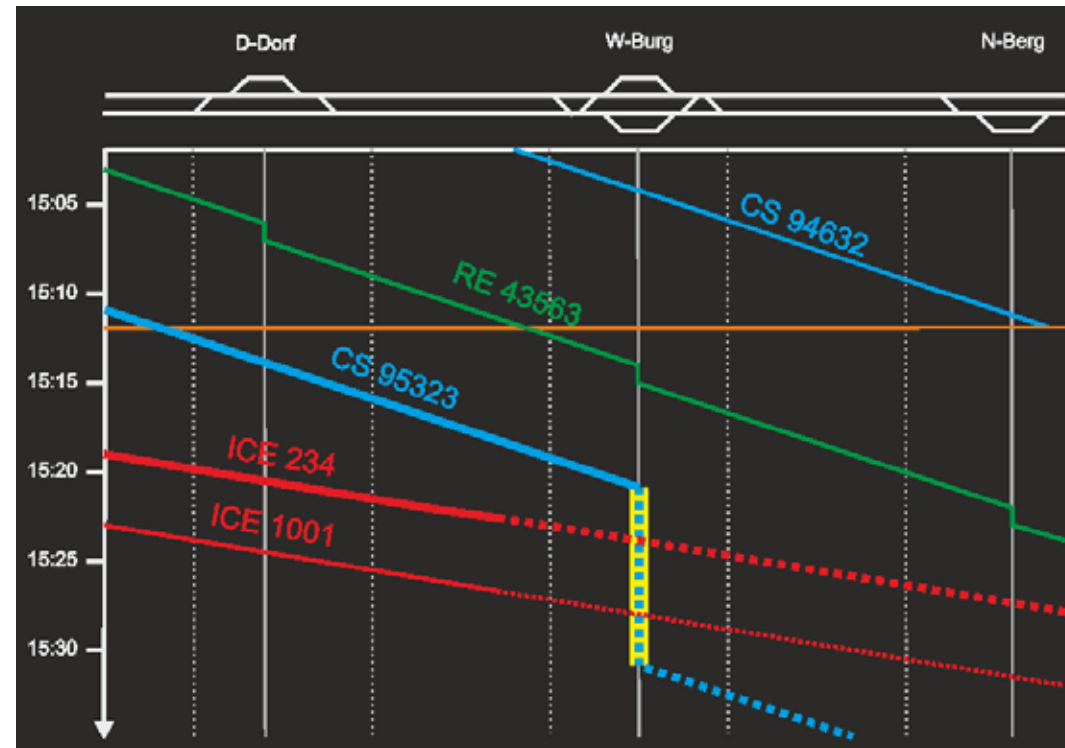


Quelle: eigene Darstellung



Nächster Schritt Dispositionsempfehlung

- Damit die Verspätung der ICEs nicht zu stark wächst, wäre eine Überholung des langsamen Zuges wünschenswert



Quelle: eigene Darstellung



Prinzipien des energieeffizienten Fahrens

Schwierigkeiten des Güterverkehrs

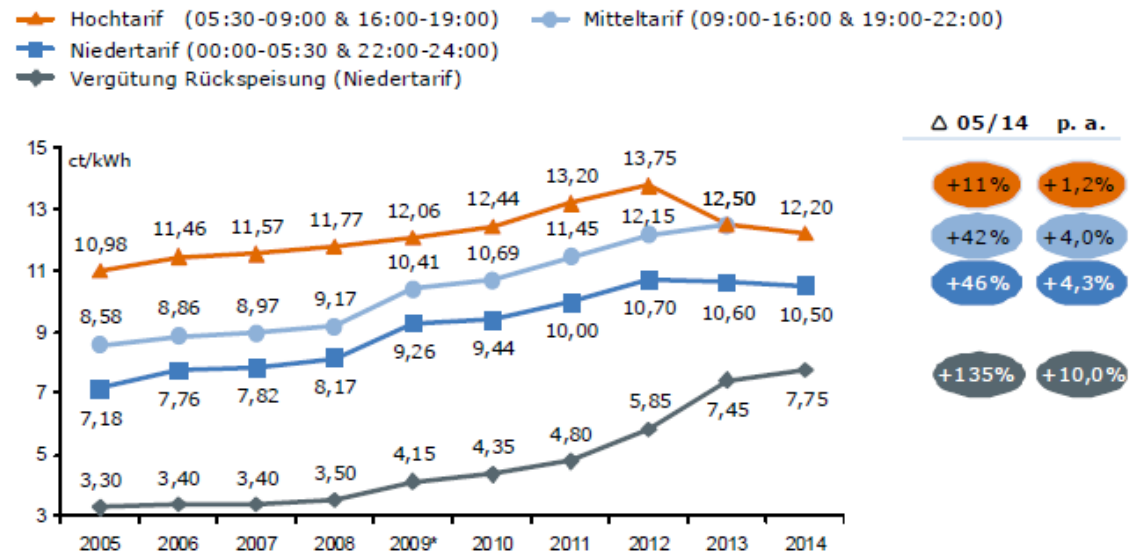
- Zugcharakteristika von Güterzügen (Masse, Länge, Fahrwiderstand) ändern sich mit jeder Fahrt
 - Soll-Fahrplan dient nur als Orientierung, Verfrühungen und Verspätungen sind Gang und Gäbe
 - Häufige Überholungen durch Personenverkehr → Optimierung über längeren Fahrtabschnitt nicht möglich
- Erst mit vernetzten Systemen ist im Güterverkehr mit einem Nutzen zu rechnen, der aber sehr groß ist



Energiekosten

- Die Rückspeisung von Bremsstrom wird in Deutschland inzwischen mit 75% des Verbrauchspreises vergütet
- Daher kann die Energieeinsparung in manchen Fällen uninteressant werden

Entwicklung der Bahnstrompreise seit 2005 (Vollversorgung)



* Preise nach Absenkung im März 2009 (vorher: 12,11 ct (HT), 10,46 ct (MT), 10,01 ct (NT))

Quelle: DB AG

© Bundesnetzagentur

Quelle: Marktuntersuchung Eisenbahn, BNetzA



Geschichte der Fahrerassistenzsysteme

- Frühe Systeme kamen im Personenverkehr zum Einsatz:
 - AVV Tschechoslowakei
 - TCAS in Großbritannien
 - S-Bahn Berlin 1980er



Geschichte der Fahrerassistenzsysteme

AVV-System in Tschechien

- Name: AVV (Automatické vedení vlaku)
- Entwickler: AŽD Prag
- Entwicklung seit: 1965
- Einsatz: regulärer Betrieb seit 1972 auf Strecke Ceske Velenice - Ceske Budejovice
- Ziel: automatischer Zugverkehr
- Funktion:
 - Der CRV (Zentraler Fahrzeug-Regulator) führt eine Regulierung der Traktionsleistung, der Geschwindigkeit und der Bremsen durch
 - Das AVV (Zielbremsung und Fahrzeit-Regulator) wurde zur automatischen Zielbremsung und der Energieeinsparung entwickelt
 - Auch signalisierte Geschw. wird berücksichtigt



Quelle: AŽD Praha



Quelle: AŽD Praha



Geschichte der Fahrerassistenzsysteme

TCAS in Großbritannien

- Name: Train Coasting Advisory System (TCAS)
- Entwickler: British Rail R&D Division
- Einsatz: Testbetrieb Oktober 1985 – März 1986 auf 5 HST Powercars auf East Coast Main Line
- Ziel: Reduzierung der Treibstoffkosten und Bremseninstandhaltungskosten
- Funktion:
 - System lief auf „Husky“ Microcomputer
 - Anweisung zum Ausrollen wurde über eine gelbe Lampe im Führerstand signalisiert
- Erkenntnisse [RSSB 09]:
 - Energieeinsparung 1,8 - 2,5%,
Bremsenverschleißreduzierung um 5,3 - 7,7%
- System wurde nur von 25% der Fahrer beachtet, Energiepreise sanken → nicht fortgeführt



Quelle: Wikipedia



Geschichte der Fahrerassistenzsysteme Berliner S-Bahn

- Name: Energieoptimale Zugsteuerung der S-Bahn Berlin (Ost)
- Entwickler: Hochschule für Verkehrswesen, Dresden, Prof. Horst Strobel
- Einsatz: S-Bahn Berlin, 1980er Jahre, Abschaltung 1990
- Ziel: Energieeinsparung
- Funktion:
 - Optimale Fahrweise wurde im Voraus berechnet, Rechentechnik erlaubte keine Echtzeit-Berechnung
 - Bei Erreichen der Abschaltgeschwindigkeit wurde automatisch eine Abschaltung vorgenommen, der Tf brauchte nur noch die Bremsung durchzuführen
- der Aufwand für die Berechnung der Kurve und Speicherung auf dem Zug war sehr hoch (EPROM)
- Energieeinsparung: durchschnittlich 16% [Punkt3 2010]



Quelle: S-Bahn Museum



Beispiele aktueller Fahrerassistenzsysteme

- Freightmiser / Metromiser / Energymiser (Australien)
- LEADER (Nordamerika)
- Trip Optimizer (Nordamerika)
- EBuLa-ESF (Deutschland)



Beispiele Fahrerassistenzsysteme

Metromiser

- Entwickler: University of South Australia Adelaide, Teknis Electronics, später Siemens, TU Berlin
- Einsatz: 1991-1993 TransAdelaide-Züge (dieselbetriebene S-Bahn), Testbetrieb im Sommer 2002 in Adelaide
- Ziel: Energieeinsparung
- Funktion:
 - Energiegünstiger Fahrplan wird vom Fahrplanoptimierer erstellt
 - Bordgerät ermittelt Fahrtanweisungen
 - Fahrdynamik wird gemessen → selbstlernendes System
- Ergebnis: 2002 – 8% Energieeinsparung



Quelle: Wikipedia



Quelle: Diss. Ulrich Linder



Beispiele Fahrerassistenzsysteme

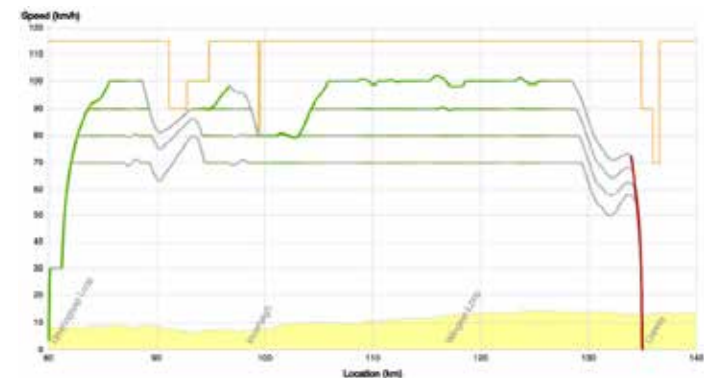
Freightmiser à Energymiser

- Entwickler: TTG Transportation Technology
- Einsatz: Eisenerzzüge in Afrika*, Güterverkehr in Australien, UK und Indien, Hochgeschwindigkeitszüge im UK
- Ziel: Energieeinsparung, Verschleißreduzierung
- Funktionsweise:
 - Fahrer kann zwischen verschiedenen Fahrprofilen wählen, die verschiedene Ankunftszeiten (z.B. am Kreuzungsbahnhof) bewirken, dazwischen wird die Fahrt optimiert
- Ergebnisse: 8-14% Einsparung im GV

* = Informationen laut Herstellerwebsite



Quelle: Phil Howlett



Quelle: Phil Howlett



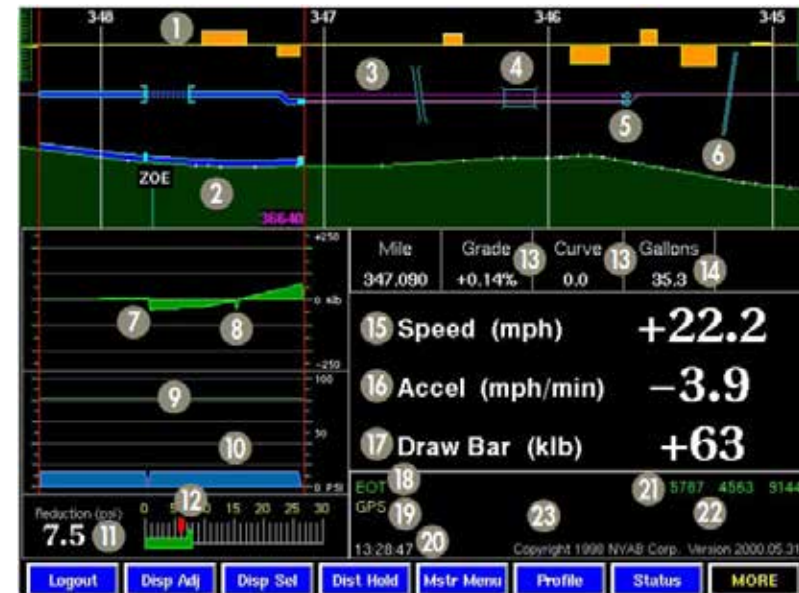
Beispiele Fahrerassistenzsysteme

LEADER

- Name: Locomotive Engineer Assist Display & Event Recorder
- Entwickler: New York Air Brake (von Knorr-Bremse übernommen)
- Einsatz: Norfolk Southern erster Nutzer in 2004, seitdem vierstellige Anzahl an Geräten verkauft (nach Angaben von Knorr-Bremse)
- Ziel: weniger Bremsverschleiß, Energie, sicheres Bremsen
- Display für Tf:
 - Strecke (1-6), Kurven (1), Gleise (3), Horizontalansicht (2), Kräfte im Zugverband (7-8), Druck Hauptluftleitung (9), Zughakenlast (17), Empf. minimale Bremsdruckreduzierung (12), Zugendstatus (18)



Quelle: New York Air Brake



Quelle: New York Air Brake



Beispiele Fahrerassistenzsysteme

Trip Optimizer

- Entwickler: General Electric Transportation
- Entwicklung seit: 2005, im Rahmen des von der US-Regierung finanzierten Projekts „21st Century Locomotive Technology“
- Einsatz: Canadian Pacific, BNSF, CSX, Canadian National
- Funktionsweise:
 - Trip Planner errechnet Fahr/Bremsoptimum
 - Speed Regulator erlaubt auch automatisches Fahren (mit Fahrer)
 - Model Estimator errechnet fahrdynamische Parameter
- Ergebnis: 3-17% Energieeinsparung



Quelle: Ecomagination 2009



Quelle: Ecomagination 2009



Beispiele Fahrerassistenzsysteme

EBuLa-ESF

- Name: Energiesparende Fahrweise (ESF) im Elektronischen Buchfahrplan (EBuLa)
- Entwickler: Deutsche Bahn
- Entwicklung seit: ESF 1980er, EBuLa 1994, ESF 1991, Energieverbrauchsanzeigen 2005
- Einsatz: deutsches Bahnnetz, DB Personenzüge (ICE zuerst, Regionalzüge), kein Güterverkehr*, kein S-Bahn-Verkehr*
- Funktionsweise:
 - Fahrer erhält Information, dass er ausrollen kann (blauer Punkt)
- Datengrundlage:
 - Fahrplandaten über GSM-R (früher CD, PCMCIA)

* Informationsstand 2010

150	EBuLa-Karte gültig bis 20.08.2003	19.08.03	18:00:50
Neusorg			
116,5			
117,3			
120,1			18:06,1
121,2			18:05,2
123,8			
120			
124,0			
124,2			18:00,3 18:02,3
80			
110			
125,5			
130,5			
Arzberg (Ofn)			
110	RWt	ZF A 64	ESF +1613 kWh -366 kWh
Zug	FSO	Gw	Zell
G			

Quelle: DB, Virginia Schaal



Quelle: DB, Virginia Schaal



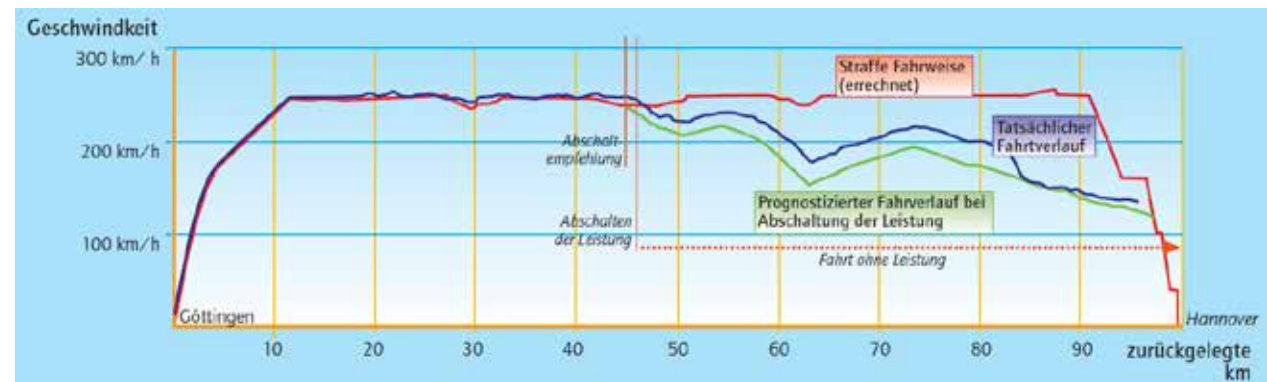
Beispiele Fahrerassistenzsysteme

EBuLa-ESF

- Zugdaten sind entweder statisch (ICE) oder werden selbstlernend ermittelt
- Langsamfahrstellen („La“) nicht enthalten
à Akzeptanzprobleme
- ESF ermöglicht lange Ausrollphasen: Unten im Bild rollt ein ICE 50 km zwischen Göttingen und Hannover
- Erfahrung: 2,5% Einsparung (inkl. verspätete Fahrten)



Quelle: Wikipedia



Quelle: DB, Virginia Schaal

Beispiele Fahrerassistenzsysteme

EBuLa-ESF

- Steuerwagen wurden anfangs nicht ausgerüstet (wegen fehlender TEMA-Box), daher ESF bei Wendezügen nur in einer Richtung
- Ortung im ICE über Odometer (mit Berücksichtigung der Verschleißkurve der Räder), sonst GPS
- Problem beim S-Bahn-Verkehr: statt Ausrollempfehlungen sind hier Zielgeschwindigkeiten (bis zu denen beschleunigt wird) günstiger
- Problem beim Güterverkehr: es gibt quasi keinen Fahrplan, daher kann auch keine Fahrplanreserve ausgenutzt werden



Beispiele Betriebsoptimierungssysteme

- CATO (Schweden)
- AdmiRail AF (Lötschberg-Basistunnel)
- GreenSpeed (Dänemark)
- Rail Control System (Schweiz)
- FreeFloat (Deutschland)



Betriebsoptimierungssysteme CATO

- Name: Computer Aided Train Operation
- Entwickler: Transrail (Schweden)
- Seit: 1998, EU-Projekt Railenergy
- Einsatz: seit 2008 auf der Erzbahn Kiruna-Narvik durch LKAB, Arlanda Express (Stockholm), Flytoget (Oslo)
- Ziel: Energieeinsparung, Erhöhung Streckenkapazität, Automatische Fahrt
- Situation: eingleisige Strecke, beladene Erzzüge wiegen bis zu 8100 Tonnen
- Kaum Fahrplanzwänge
- Sehr unterschiedliche Fahrprofile derselben Zugfahrt an verschiedenen Tagen
- Ergebnis: 20-25% Energieeinsparung



Quelle: Wikipedia

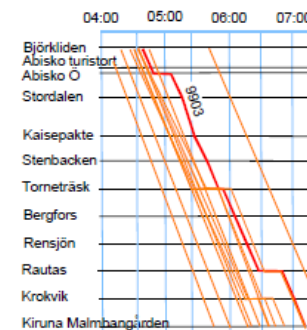


Fig B: The nominal graph of train 9903 and the actual graphs of the train various days.

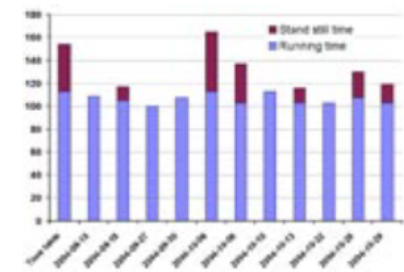


Fig C: Running and stand still times of train 9903 various days. Left bar shows times according to the time table.

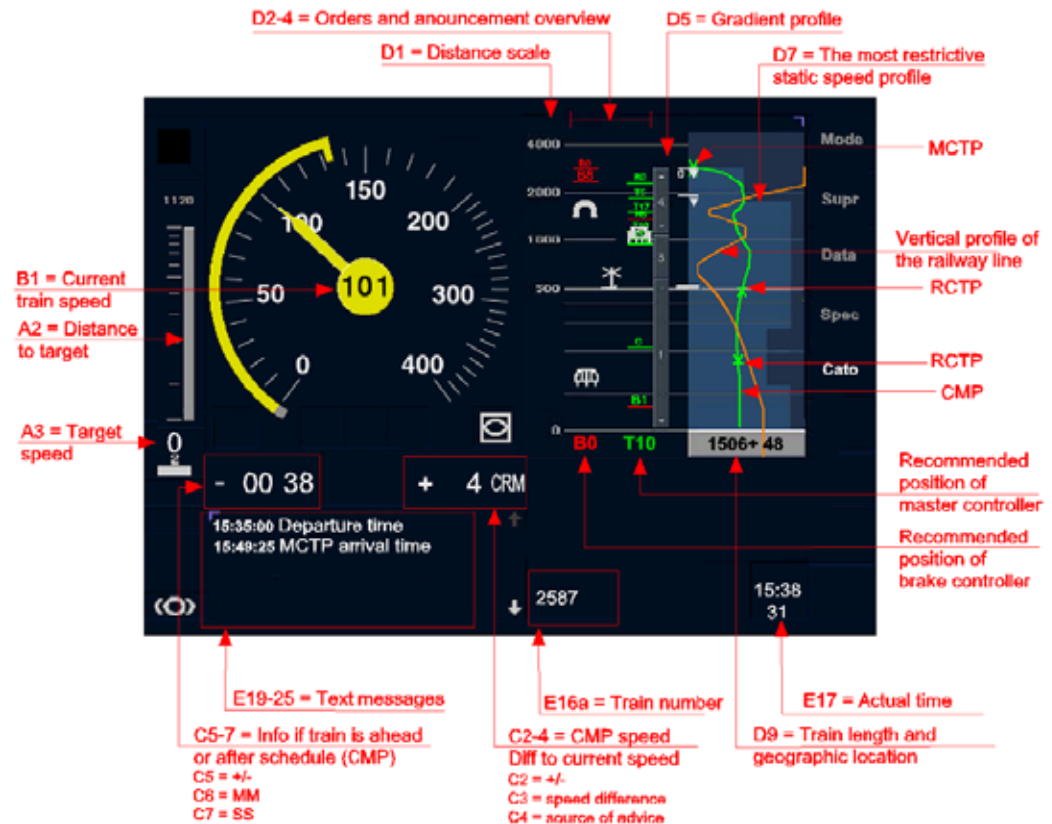
Quelle: Transrail



Betriebsoptimierungssysteme

CATO

- CATO-Display in der Lok basiert auf dem ETCS-Display
- Auch hier Vorschau der Strecke mit relevanten Punkten (Bahnhöfe, Bahnübergänge, ...)
- Anzeige des Soll-Profiles (CATO Motion Profile, grüne Linie), der Zielpunkte (CATO Target Points)



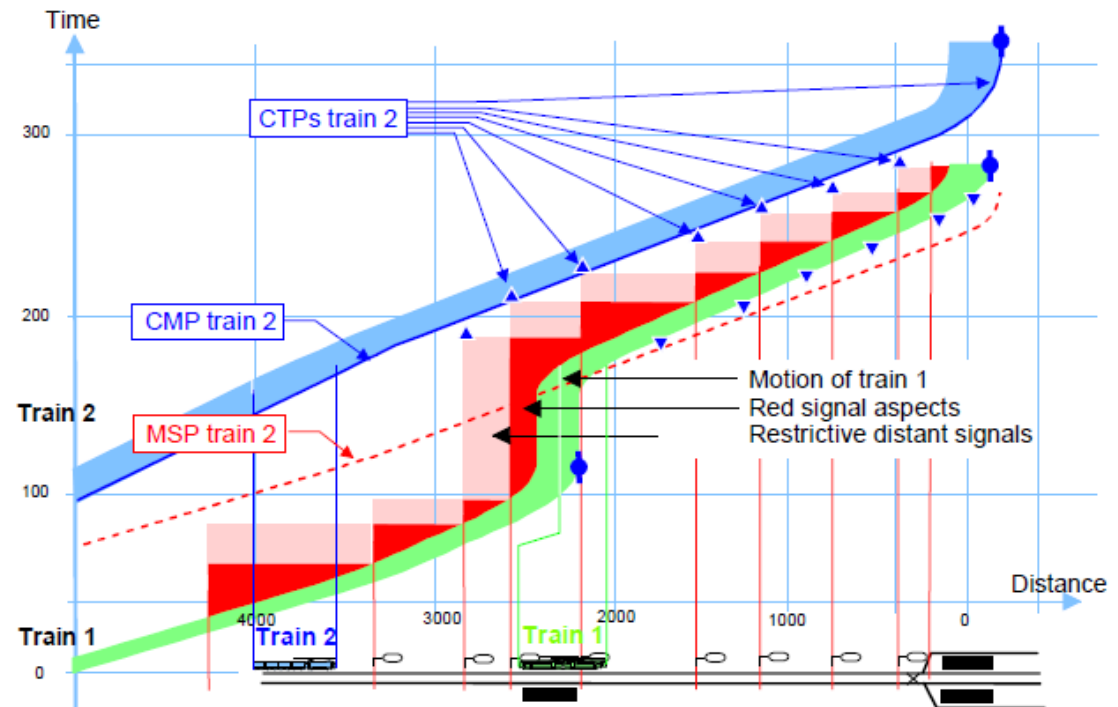
Quelle: Transrail

Betriebsoptimierungssysteme

CATO

- Beispiel eines Einsatzfalles:
- Grüner Zug fährt voraus
- Blauer Zug folgt uns soll planmäßig die rot gestrichelte Linie fahren
- Grüner Zug hält an
- Blauer Zug erhält Zielpunkte (CTP)
- Dadurch wird er „verbogen“ und fährt langsamer hinterher

à Kein Anhalten des blauen Zuges



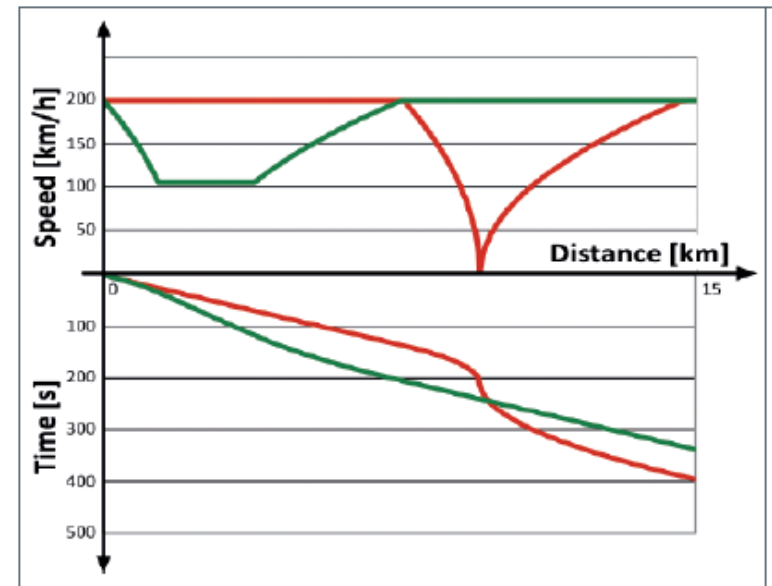
Quelle: Transrail



Betriebsoptimierungssysteme

AdmiRail AF (Lötschberg-Basistunnel)

- Name: Automatic Function (AF)
- Entwickler: Systransis, Schweiz
- Einsatz seit: 2007 im Lötschberg-Basistunnel
- Ziel: Vermeidung von Rothalten mit allen positiven „Nebeneffekten“
- Situation: Lötschberg-Basistunnel (34 km) ist zu 2/3 aus Kostengründen nur eingleisig
- Anhalten im Tunnel würde Kapazität von 120 Zügen/Tag zunichte machen
- Laut systransis stand früher die Kapazität im Fokus, jetzt die Energieeffizienz (ETR 10/13)
- Ergebnis: 12% Energieeinsparung



Quelle: Systransis



Betriebsoptimierungssysteme GreenSpeed

- Entwickler: Dänische SB, Cubris
- Entwicklung seit: 2006 (Gekko)
- Ausrüstungsstand: März 2012 auf 215 Fahrzeugen (75% der DSB-Flotte)
- Ziel: Pünktlichkeit erhöhen, Energieeffizienz
- Ebenen:
 - Level 0: Standalone
 - Level 1: Datenverbindung mit Streckenseite
 - Level 2: mit anderen Zugsystemen gekoppelt + Fahrplananpassungen
 - Level 2+: mit ETCS gekoppelt
- Erfahrungen: 8% Energieeinsparung

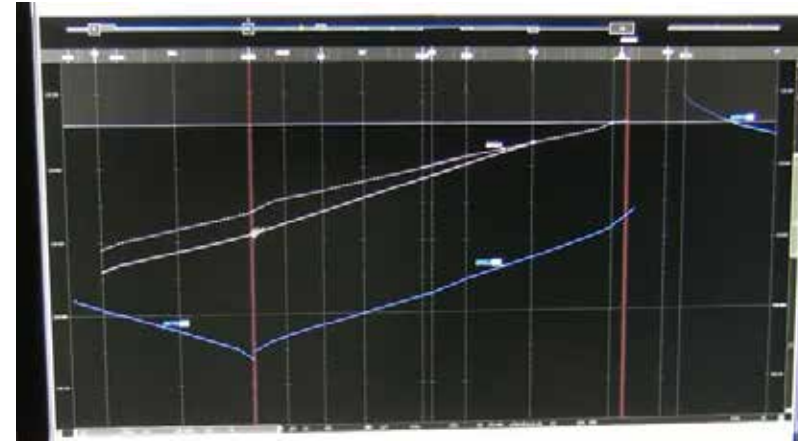


Quelle: Cubris, Dänemark



Betriebsoptimierungssysteme RCS / ADL

- Name: Rail Control System (RCS), Adaptive Lenkung (ADL)
- Entwickler: SBB, CSC
- Einführung: RCS 2009, ADL-Test 2012
- Rail Control System ist das Dispositionssystem der Schweizerischen Bundesbahnen
- Funktionsweise:
 - Alle 3 Sekunden werden alle Züge auf dem SBB-Netz neu berechnet
 - Dabei: Verbiegen der Züge, um Rothalte zu vermeiden
 - Fahrempfehlung wird auf dem LEA-Tablet des Lokführers als optimale Geschwindigkeit angezeigt (Vopt)



Quelle: Gerberstudio / Youtube (RCS/ZWL)

Station	Block	km	h	min	s
Getterkinden	Block	52	35	10	00
Diesbach	Block	52	35	10	00
Ringen	Block	52	35	10	00
Lausen	Block	52	35	10	00
km 10.300	Block	52	35	10	00
Liestal	Block	52	35	10	00
Frenkendorf-Füllinsdorf	Block	52	35	10	00
Korne	Block	52	35	10	00
Pratteln	Block	52	35	10	00
km 7.220	Block	52	35	10	00
Basel SBB RB Gr E	Block	52	35	10	00
Basel SBB RB Gr F	Block	52	35	10	00

Quelle: SBB



Disposition im Eisenbahnverkehr

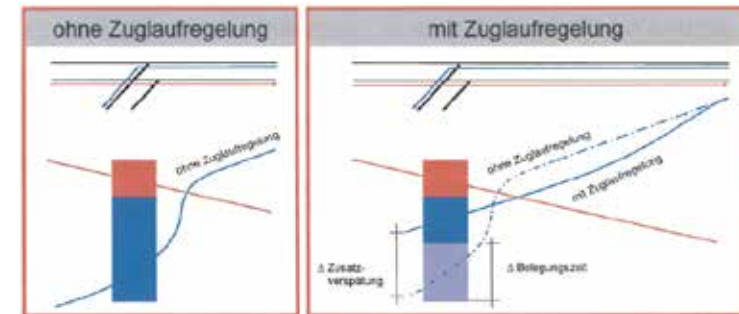
- Eingriffe in den Bahnbetrieb auf operativer Ebene wird bei der Bahn als Disposition bezeichnet
- Einige Dispositionsentscheidungen können dabei helfen, Energie zu sparen
- Dennoch steht bei der DB die Pünktlichkeit und Kapazität bei Dispositionsentscheidungen im Vordergrund
- Forschungsbedarf: Dispositionsassistentz mit Errechnung eines Gesamtoptimums



Betriebsoptimierungssysteme

FreeFloat – KE/KL-ZLR

- Name: Konflikterkennung, Konfliktlösung + Zuglaufregelung
- Entwickler: DB, BVU
- Testbetrieb: Betriebszentrale Karlsruhe 2012, BZ Leipzig, BZ Duisburg
- Funktionsweise:
 - Integriert im Leitsystem LEIDIS der DB
 - Erkennung von Konflikten
 - Lösung von Konflikten, nicht nur durch Verbiegen, sondern auch dispositive Maßnahmen wie Überholungen, Gleisänderung
 - Für Lokführer Hinweis im EBuLa-Gerät vorgesehen (L-Tafel in Miniatur, Soll-Geschw als Differenz zur Vmax)



Quelle: Oetting, ETR 10/2008



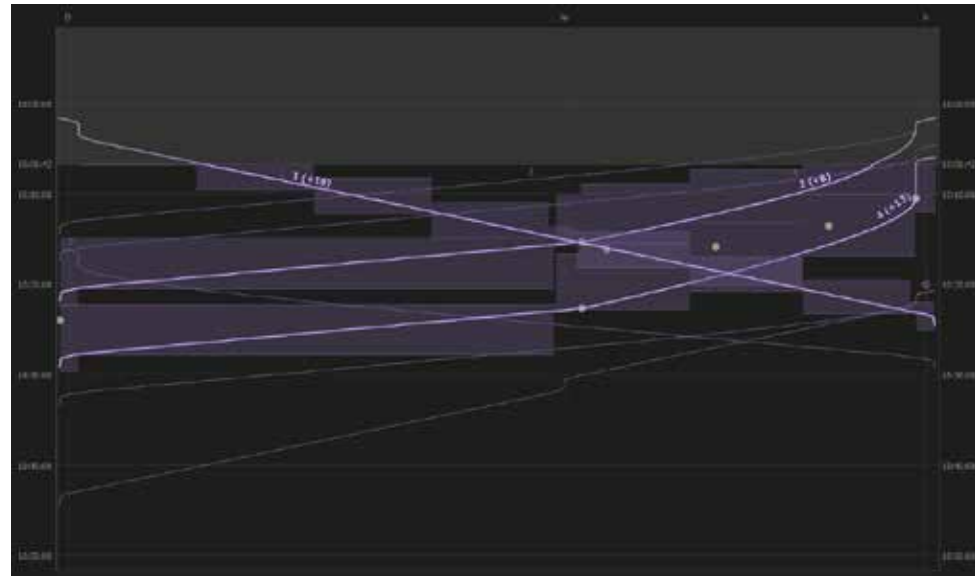
Quelle: Kaufmann, FBS AT Mai 2012



DLR-Forschung

Operatives Verkehrsmanagement

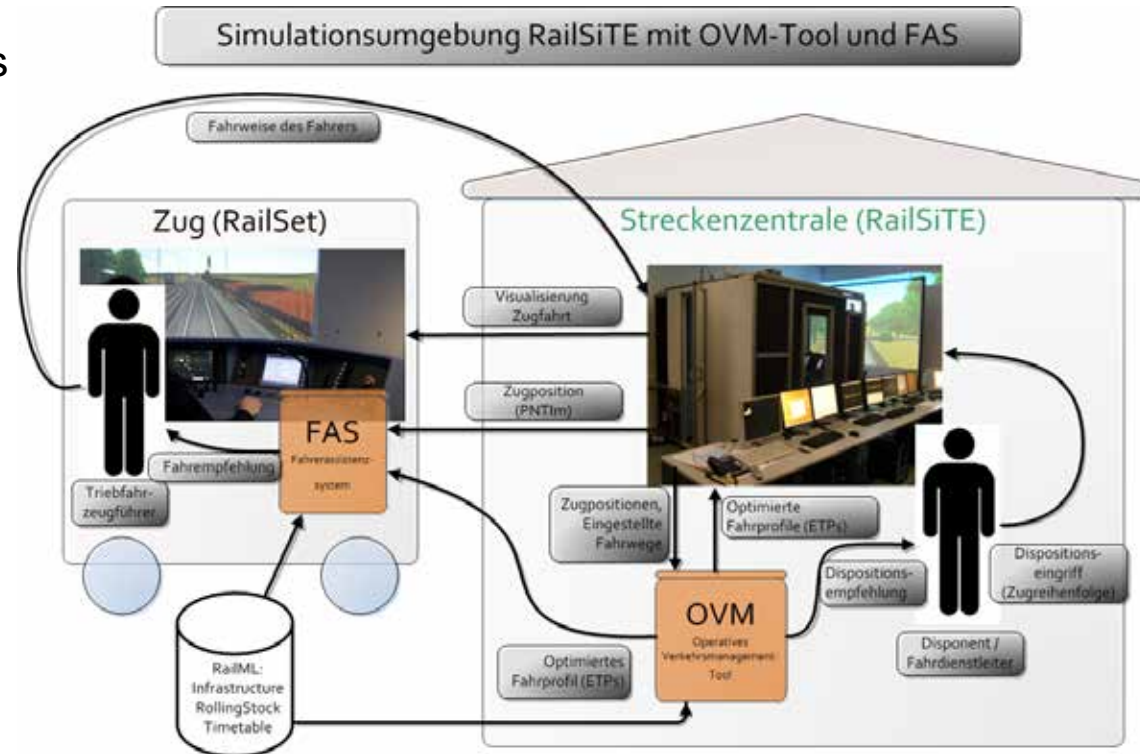
- Entwicklung seit: 2012
- Softwaretool für den Einsatz in der Streckenzentrale
- Funktionsweise:
 - Empfang von Positionsmeldungen der Züge
 - Asynchrone Simulation des zukünftigen Betriebsablaufs
 - Lösung von Konflikten
 - Versand von Zielpunkten (Protokoll wie bei CATO) an Züge, welche diese dann umsetzen



DLR-Forschung

Operatives Verkehrsmanagement

- Nutzung des DLR-Labors RailSiTE
- Dieses besteht aus Fahrsimulator sowie aus einem Modul zur Simulation von Leit- und Sicherungstechnik (auch ETCS)
- Kooperation mit TU Dresden und Interautomation (Fahrerassistenzsystem)
- Nachweis des Energiesparpotenzials durch Verbiegen der Züge



Fazit und Ausblick

- Betriebsoptimierung steht im Spannungsfeld zwischen
 - Energieeinsparung (und Lärm- und Verschleißreduzierung)
 - Steigerung der Strecken- und Knotenkapazität
 - Pünktlichkeitsverbesserung
- Grundlage für den Nutzen von nicht vernetzten fahrzeugseitigen Fahrerassistenzsystemen (FAS) ist die Fahrzeitreserve
- FAS werden inzwischen von vielen Herstellern angeboten bzw. nationalen Bahnbetreibern selbst entwickelt
- Vernetzte Systeme versuchen Rothalte zu vermeiden und setzen den Fokus
 - primär auf eine Erhöhung der Kapazität (z.B. DB FreeFloat)
 - auf eine Einsparung von Energie (z.B. CATO/Schweden)
- Neuer Fokus auf Optimierung der Disposition

